

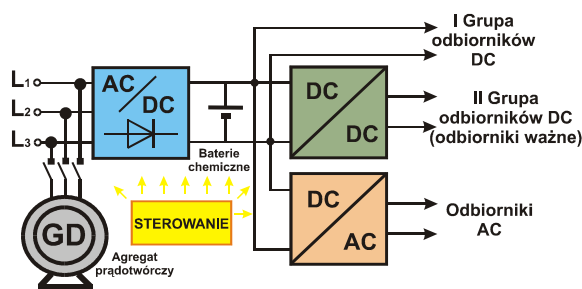
Antoni DMOWSKI ¹
Piotr BICZEL ²
Tomasz DZIK ³

OGNIWA PALIWOWE W UKŁADACH ZASILANIA POTRZEB WŁASNYCH ELEKTROENERGETYKI

Referat prezentuje blokowy schemat typowego układu zasilania potrzeb własnych oraz nową propozycję układu opartego na ogniwach paliwowych. Autorzy przybliżają również tematykę ogniw paliwowych. Przedstawione są dwa układy zbudowane na bazie ogniw paliwowych. Jeden zasilany jest wodorem, drugi pracuje będąc zasilanym metanolem jako podstawowym paliwem. W opisie tych systemów zwrócono uwagę na część elektroenergetyczną, część sterowania oraz nadzoru.

1. WSTĘP

Rola urządzeń zasilających obwody potrzeb własnych elektroenergetyki ciągle wzrasta. W wyniku nieustannego rozwoju nowych technologii wytwarzania energii elektrycznej i mikroprocesorowych urządzeń sterujących można zaobserwować coraz to nowe propozycje układowe systemów zasilania potrzeb własnych. Układy takie spełniają swoje podstawowe zadania a także likwidują największe wady swych poprzedników. Są także coraz częściej urządzeniami ekologicznymi. Obecne układy zasilania potrzeb własnych mają budowę jak to przedstawiono na rysunku 1.



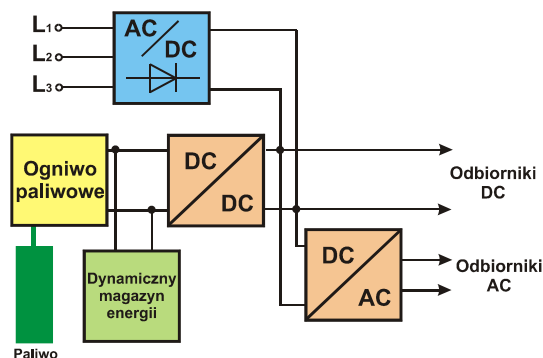
Rys. 1. Układy zasilania potrzeb własnych – stan obecny

1 Politechnika Warszawska Instytut Elektroenergetyki, 00-662 Warszawa, ul Koszykowa 75, tel. (0-22) 6607366 , admowski@ee.pw.edu.pl

2 Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Warszawska, 00-662 Warszawa, ul Koszykowa 75, tel. (0-22) 6607366 juleksuki@gazeta.pl

3 Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Warszawska, 00-662 Warszawa, ul Koszykowa 75, tel. (0-22) 6605613 tdzik@op.pl

W czasie normalnej pracy systemu odbiorniki są zasilane z sieci energetycznej przez prostownik i przetwornice elektroenergetyczne. Jednym z podstawowych elementów tego układu są duże baterie chemiczne. Podtrzymują one zasilanie odbiorników w sytuacji, gdy zanika napięcie sieci. Gdy zanik ten jest długotrwały to baterie chemiczne zostają rozładowane i wtedy niezbędne jest włączenie generatora z silnikiem Diesla w celu podtrzymania ciągłości zasilania odbiorników. Największe problemy eksploatacyjne sprawiają baterie chemiczne. Wymagają ciągłego nadzoru i odpowiednich urządzeń do ładowania, aby nie straciły swej żywotności. Jednak mimo najlepszych układów nadzoru nie jesteśmy w stanie w pełni przewidzieć ile energii mamy do dyspozycji w tych bateriach. Kłopotliwym elementem układu jest także generator z silnikiem Diesla. Urządzenie to hałasuje, wprowadza drgania i zanieczyszcza powietrze. Rozwiązaniem tych problemów może stać się układ przedstawiony na rysunku 2.

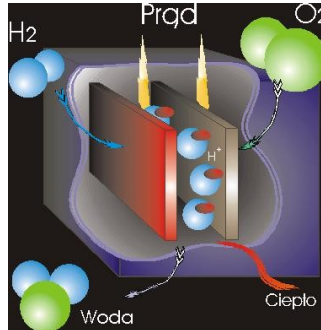


Rys. 2. Układy zasilania potrzeb własnych – nowe rozwiązanie

W układzie tym ogniwo paliwowe wraz z dynamicznym magazynem energii może zastąpić dwa elementy poprzedniego rozwiązania, które stwarzają najwięcej problemów. W układzie tym mamy pełną informację o ilości dysponowanej energii. Dzięki zastosowaniu automatycznej stacji rozprężania wodoru mamy nieograniczony czas podtrzymania zasilania odbiorników.

2. OGNIWA PALIWOWE

Urządzeniem zamieniającym bezpośrednio paliwo wodorowe na energię elektryczną jest ogniwo paliwowe. Ogniwo paliwowe typu PEM zasilane jest wodorem a tlenem potrzebny do reakcji chemicznej pobieranym jest z powietrza atmosferycznego. Wodór trafia na anodę gdzie następuje jego katalityczne rozbitcie. Katalizator “wyrzywa” z gazu elektrony a dodatnio naładowane jony przejmuje membrana polimerowa. Obojętny elektrycznie tlen doprowadzany do katody przechwytuje swobodne elektrony powodując przepływ prądu stałego. Ujemnie naładowane jony tlenu reagują w membranie z protonami i wytwarzana jest cząsteczka wody. Reakcje te są egzotermiczne, więc jedynymi produktami ubocznymi w procesie wytwarzania prądu są czysta woda i ciepło. Zasadę działania ogniwa paliwowego przedstawia rysunek nr 3.



Rys. 3. Zasada działania ogniwa paliwowego.

Zasadniczą przewagą ogniw paliwowych w stosunku do tradycyjnych sposobów wytwarzania energii elektrycznej jest całkowity brak toksycznych odpadów i spalin. Jeżeli potraktujemy ogniwo paliwowe jak czarną skrzynkę do z jednej strony doprowadzamy paliwo wodorowe i powietrze, z drugiej otrzymujemy czystą wodę nadającą się do użytku i ciepło (rysunek nr 3.).

Głównym źródłem paliwa jest wodór, którego zastosowanie jest tanie i najbardziej ekologiczne. Wodór przechowywany jest obecnie w butlach lub zbiornikach pod wysokim ciśnieniem i poprzez reduktory dostarczany do ogniwa. Najnowsze technologie bezpiecznego przechowywania wodoru polegają na uwięzieniu cząsteczek gazu w specjalnym pojemniku wypełnionym wodorkami metalu. Stałe wodorki metalu są w stanie zgromadzić nawet do 3300 Wh/l energii. Dla porównania klasyczny akumulator ołowiowo-kwasowy osiąga gęstość energii rzędu 80 Wh/l.

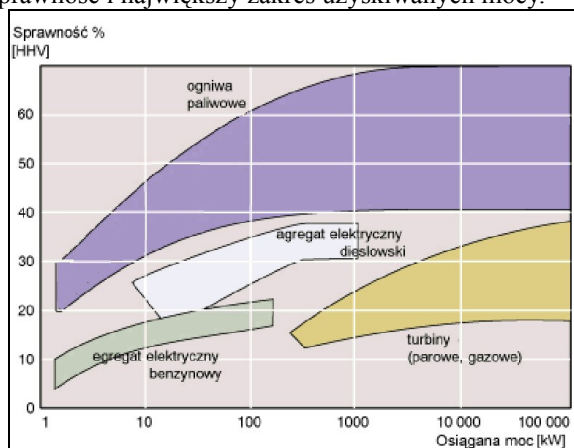
Przez zastosowanie odpowiedniego przemiennika chemicznego zwanego reformerem ogniwo paliwowe może być zasilane np.: gazem ziemnym lub metanolem.

Tabela nr 1 zawiera zestawienie różnego rodzaju ogniw paliwowych.

Tabela 1 Porównanie różnych typów ogniw paliwowych

Typ ogniwa paliwowego	„Zestalone tlenki”	Stopione węglany	Kwasowy	Zasadowy	Z membraną wymiany protonów
Elektrolit	Ceramika	Stopiona sól	H ₃ PO ₄	KOH	Polimer
Temperatura pracy	1000 °C	650 °C	190 °C	80 – 120 °C	80 – 140 °C
Paliwo	Wodór Tlenek węgla Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór Produkty reformowania	Wodór	Wodór Produkty reformowania
Reformowanie	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne, wewnętrzne	Zewnętrzne		Zewnętrzne
Sprawność	> 60%	> 60%	40 – 50 %	40 – 50 %	40 – 50 %
Zakres mocy	> 100MW	> 100MW	200kW do 10MW	100W do 20kW	10W do 10MW

Rysunek nr 4 przedstawia przykładowe porównania sprawności energetycznej różnych przetworników energii. Porównanie to wypada na korzyść ogniwa paliwowego. Ma ono najwyższą sprawność i największy zakres uzyskiwanych mocy.



Rys. 4. Porównanie sprawności różnych przetworników energii.

Sprawność układu można zwiększyć wykorzystując ogniwo paliwowe w tak zwanym układzie skojarzonym.

3. WODOROWY SYSTEM ZASILANIA Z OGNIWEM PALIWOWYM „PULSTAR”

Układ zasilania z ogniwem paliwowym „PULSTAR” został zaprojektowany, zbudowany i przebadany na Politechnice Warszawskiej w Zakładzie Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej przy współpracy z firmą APS Energia. Pierwszy w Polsce kompletny wodorowy system zasilania awaryjnego przedstawiony na rysunku nr 5.



Rys. 5. System zasilania z ogniwem paliwowym „PULSTAR”.

Układ ten może być z powodzeniem układem zasilania potrzeb własnych w elektroenergetyce jak też i wyspowym systemem zasilania w energię elektryczną. System eliminuje wady klasycznych układów zasilania awaryjnego takie jak problemy z akumulatorami i agregatem prądotwórczym oraz niepewność, co do ilości zgromadzonej energii. Może zasilac odbiory zmiennoprądowe.

System składa się z ogniwa paliwowego jako głównego źródła energii w przypadku pracy awaryjnej, zestawu nowoczesnych przetwornic energoelektronicznych oraz małych baterii chemicznych lub superkondensatorów. Rozwiązanie takie jest potrzebne dla zapewnienia właściwej pracy układu przy skokowych zmianach obciążenia. Wartość tych chwilowych obciążeń może przekraczac obciążenie nominalne ogniwa. W ten sposób rozwiązany jest problem selektywności zabezpieczeń i rozruchu odbiorników, które wymagają dużych prądów w czasie rozruchu (np.: silnik asynchroniczny).

System standardowo zasilany jest czystym wodorem dostarczonym w butlach lub zbiornikach. Nad pracą całego ogniwa paliwowego i systemu dystrybucji paliwa czuwa mikroprocesorowy system nadzoru, który steruje pracą całego układu zasilania i dba o bezpieczeństwo systemu. Układ nadzoru wyposażony jest w możliwość zdalnej komunikacji z użytkownikiem (np. poprzez linię GSM) w celu bieżącej kontroli stanu systemu i poziomu paliwa w zbiornikach. Układ zasilania w wodór został wykonany przy użyciu automatycznej stacji rozprężania wodoru, montowaną przy butlach i umożliwiającą zdalną pracę butli i pełną ich kontrolę. Taka konstrukcja systemu umożliwia wymianę pustych butli w czasie pracy systemu zasilania.

Jak już napisano powyżej w celu zabezpieczenia zasilania podczas startu ogniwa oraz do zapewnienia selektywności zabezpieczeń zastosowano opcjonalnie krótkotrwały magazyn energii w postaci superkondensatora. Element ten magazynuje duże ilości energii elektrycznej podobnie jak akumulator, ale jest elementem niewymagającym żadnej obsługi i jego czas pracy jest określany na ponad 500000 cykli. Nie wymaga również, w przeciwieństwie do baterii chemicznych kosztownego recyklingu. W systemie PULSTAR może być zastosowana również mała klasyczna bateria chemiczna.

System zasilania PULSTAR ma konstrukcję modułową i może być swobodnie dopasowany do wymagań potencjalnego użytkownika ze względu na zainstalowaną moc jak i na rodzaj zasilania i rezerwowanych odbiorów. Znakomicie nadaje się również do zasilania aplikacji wyspowych, a więc przy całkowitym braku sieci elektroenergetycznej.

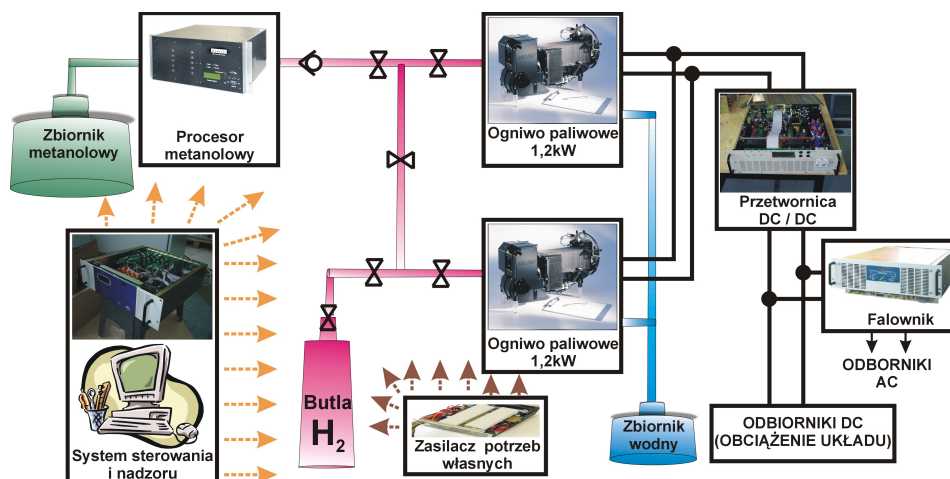
4. SYSTEM ZASILANIA Z OGNIWEM PALIWOWYM Z OPCJĄ ZASILANIA METANOLEM

System zasilania z ogniwem paliwowym gdzie podstawowym paliwem jest metanol znajduje się w trakcie badań prowadzonych przez Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej Politechniki Warszawskiej i Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Gdańskiej. System ten powstał przy współpracy z firmą APS Energia. Kompletny metanolowy system zasilania awaryjnego przedstawiony jest na rysunku nr 6.



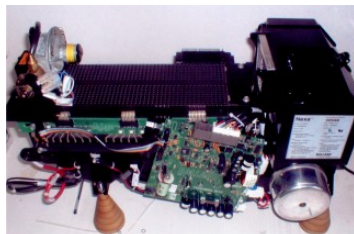
Rys. 6. System zasilania z ogniwem paliwowym zasilanym metanolem.

Uproszczony schemat układu przedstawiony jest na rysunku nr 7.



Rys. 7. Schemat uproszczony systemu zasilanego metanolem

Podobnie jak i pierwszy system został on zbudowany na bazie ogniw paliwowych z membraną wymiany protonów (PEM) wyprodukowanych przez firmę Ballard. Ogniwo takie zostało przedstawione na rysunku nr 8.



Rys. 8. Ogniwo paliwowe Nexa™ firmy Ballard.

Najważniejsze dane techniczne zastosowanego ogniwa paliwowego zestawiono w tab. 2

Tabela 2. Najważniejsze dane techniczne ogniwa paliwowego Nexa

Paliwo:	wodór 99.99 % (wodór 4)
Moc znamionowa:	1.2 kW
Napięcie znamionowe:	26 V
Napięcie maksymalne:	50 V
Prąd znamionowy:	46 A
Zużycie wodoru przy mocy znamionowej:	18,5 NI/min

Elementem układu, który pozwala z metanolu otrzymać wodór do zasilania ogniwa paliwowych jest procesor metanolowy. Podstawowe dane procesora metanolowego użytego przy budowie tego układu zestawiono zostały w tabeli nr 3.

Tab. 3. Najważniejsze dane techniczne procesora metanolowego 20L produkcji Genesis Fueltech.

Paliwo:	65 % wodny roztwór metanolu
Czystość produkowanego wodoru:	99.999%
Wydajność i ciśnienie produkowanego wodoru:	>20 NI/min, >0,7 bar
Zasilanie:	24 VDC <30 W oraz 230 VAC ok. 800 W/45 min.
Sprawność:	80 %

Podstawowe dane techniczne całego układu zestawiono w tabeli nr 4.

Tabela 4. Najważniejsze dane techniczne systemu zasilanego metanolem

Rodzaj paliwa:	paliwo metanolowe: 65 % wodny roztwór metanolu wodór: wodór 99.99 % (1),
Moc znamionowa:	2.4 kW (2)
Zużycie paliwa:	wodór: 37 NI/min paliwo metanolowe: 50 ml/min (3)
Produkcja wody:	1.7 l/godz (4)
Zasilanie zewnętrzne:	230 VAC, 50 Hz, ok. 1.2 kW (5)

1 - przy spełnieniu dodatkowych wymagań na zawartość niektórych zanieczyszczeń

2 - moc przy zasilaniu wodorem lub zasilaniu mieszanym

3 - dla wodoru - przy zasilaniu wodorem przy mocy znamionowej,

dla paliwa metanolowego - przy zasilaniu paliwem metanolowym lub zasilaniu

4 - przy mocy znamionowej

5 - istnieje możliwość pracy systemu bez zasilania zewnętrznego - tzw. praca wyspowa

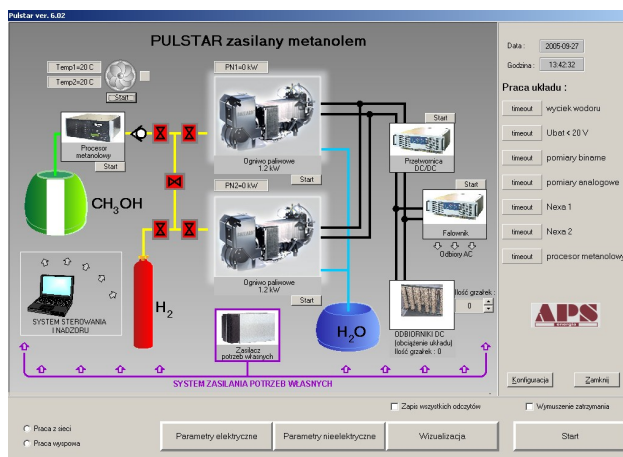
System metanolowy zasilania potrzeb własnych elektroenergetyki zbudowany został na bazie omówionego wcześniej systemu PULSAR. Nowym elementem systemu jest procesor metanolowy z układem zasilania metanolem. Bardziej rozbudowany jest tutaj także system sterowania i nadzoru, który czuwa nad prawidłową pracą układu. Podstawowym paliwem jest metanol, a dodatkowo układ może być zasilany wodorem. Całość urządzenia rozmieszczono w dwóch szafach. W szafie aparaturowej nr 1 znajdują się 2 ogniwa paliwowe Nexa, procesor metanolowy, zbiornik na paliwo metanolowe, instalacje zasilające ogniwa paliwowe, instalacja wodna obsługująca ogniwa paliwowe oraz czujniki (przepływomierze, termometry, czujniki stężenia wodoru, itp.). W szafie aparaturowej nr 2 znajdują się dwie kasety systemu automatycznego nadzoru typu SAN3, przetwornica główna DC/DC, falownik 230 V o wyjściu sinusoidalnym, przetwornica potrzeb własnych 48VDC/24VDC, prostownik zewnętrznego ładowania baterii 230VAC/24VDC, dwie baterie VRLA 40Ah, oraz zespół zabezpieczeń umożliwiających przyłączenie odbiorników.

Wszystkie operacje w systemie zasilania sterowane są z konsoli systemu automatycznego nadzoru SAN3 lub z dołączonego zewnętrznego komputera. Widok SAN3 systemu przedstawia rysunek 11.



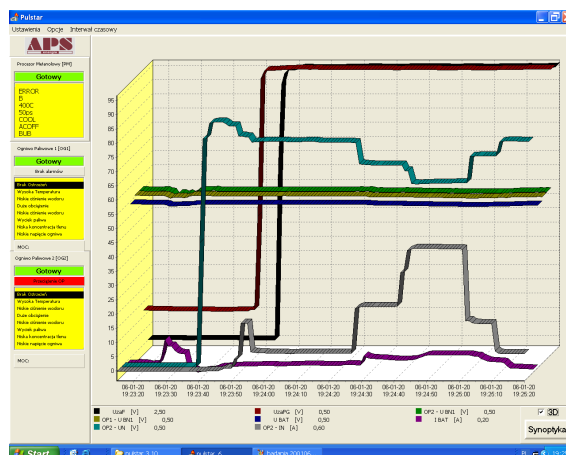
Rys. 11. System automatycznego nadzoru SAN-3.

System SAN-3 wykonany jest w technice mikroprocesorowej. Budową przypomina zwykły komputer klasy PC. Karty wejściowe w zależności od potrzeb - analogowe lub cyfrowe, z izolowanymi wejściami lub nieizolowanymi - zbierają informacje o systemie i jego otoczeniu. Za pomocą łącza szeregowego RS485 komunikują się z jednostką centralną, która analizuje pomiary i odpowiednio steruje urządzeniem. Wszystkie parametry można obejrzeć na czołowej płycie modułu, gdzie znajduje się wyświetlacz LCD i szereg lampek informujących o stanie systemu. Można tutaj również podłączyć zewnętrzny komputer i przy pomocy programu synoptyki sterować i kontrolować urządzenie oraz przechodząc do wizualizacji danych obejrzeć wszystkie parametry układu. Ekran synoptyki przedstawiony jest na rysunku 12.



Rys. 12. Ekran synoptyki systemu

Przy użyciu programu synoptyki możemy sterować systemem i kontrolować podstawowe parametry układu. W celu obejrzenia poszczególnych parametrów przechodzimy do wizualizacji. Ekran wizualizacji przedstawiony jest na rysunku 13.



Rys. 13. Ekran wizualizacji systemu

Na tym ekranie można wybrać parametry, jakie chcemy obejrzeć i sprawdzić stan urządzeń pracujących w systemie.

5. WNIOSKI

Niewątpliwie urządzenia zasilające potrzeby własne w elektroenergetyce wykorzystujące wodór, metanol, gaz ziemny czy też biogaz staną się w przyszłości dominującymi. Już dzisiaj koncerny samochodowe wprowadzają do sprzedaży pierwsze

pojazdy wyposażone w ogniwa paliwowe, niedługo aparaty komórkowe i laptopy będą posiadały baterie złożone z ogniw paliwowych.

Największe zalety ogniw paliwowych takie jak:

- duża sprawność
- niewielkie zanieczyszczenie środowiska
- nie są źródłem hałasu
- możliwość dowolnej lokalizacji
- system modułowy
- całkowita automatyzacja pracy
- mogą być zasilane różnymi rodzajami paliw

powodują duże zainteresowanie się tymi urządzeniami.

Istotnym argumentem staje się powoli cena tych urządzeń, już obecnie konkurencyjnych do klasycznych systemów zasilania awaryjnego. Przedstawione powyżej urządzenia mogą z powodzeniem zastąpić eksploatowane dziś układy zasilania potrzeb własnych w elektroenergetyce likwidując ich podstawowe wady.

6. LITERATURA

1. Christian Wunderlich and Franz Reichenbach, PEM Fuel Cell Cogeneration Power Plant Optimization – On the way to a commercial product, Fuel Cell Home, Lucerne/Switzerland, 2001
2. Dmowski, Biczel, Kras: „Stand-alone telecom power system supplied by PEM fuel cell and renewable sources”. International Fuel Cell Workshop 2001, str.244, Kofu, Japonia, 12-13 listopada 2001
3. Dmowski, Biczel, Kras „Hybrid Solar -Wind - Fuel Cell Clean Energy System With New Type Of Parallel Regulator”, NorthSun 2001 Conference, 6-8.05.2001, Leiden, Holandia
4. Dmowski, Biczel, Kras „Czy ogniwa paliwowe staną się przyszłością elektroenergetyki”, UPS 2001-Nowe podejście do zasilania awaryjnego, Jachranka k/Warszawy 19-21 listopad 2001, nr ISSN 0138.0826
5. Styczyński Z. “Ogniwa paliwowe. Przyszłość zasilania?” Wiosenna Szkoła Fundacji Steinbeisa”, Odnawialne źródła energii XXI wieku” Magdeburg, 23-24 kwiecień 2001, Niemcy
6. Dmowski, Kras „Fuel Cell Control System And Power Converters” Elektrische Energiewandlungssysteme, Magdeburg, maj 2002, Niemcy

Fuel Cells Systems in Supplying Self Demands

This paper presents typical supplying power systems and new idea of power supplying system based on Fuel Cell. The paper presents a review of fuel cells as a new solution of supplying self demands. Two systems based on fuel cells are described. The first one is supplied with pure hydrogen, the second can work on methanol. Description of such systems focuses not only on the power part of such devices, but also on the control part, without which the fuel cells' activity is impossible.